苏 州 大 学 实 验 报 告

院、系	计算机学院	姓名	朱金涛	学号	2327406014
课程名称	计算机网络				
指导教师	高国举		实验完成日期		2025 年 12 月 2 日

实验名称： 网际协议

一、 实验目的

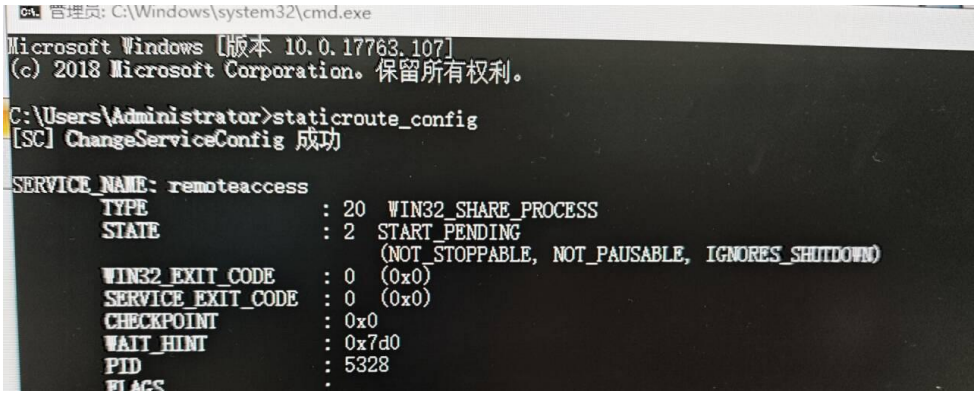
- 掌握 IP 数据报的报文格式
- 掌握 IP 校验和计算方法
- 掌握子网掩码和路由转发
- 理解特殊 IP 地址的含义
- 理解 IP 分片过程
- 理解协议栈对 IP 协议的处理方法
- 理解 IP 路由表作用以及 IP 路由表的管理

二、 实验步骤与结果

练习 1：编辑并发送 IP 数据报

各主机打开协议分析器，进入相应的网络结构并验证网络拓扑的正确性，如果通过拓扑验证，关闭协议分析器继续进行实验，如果没有通过拓扑验证，请检查网络连接。本练习将主机 A、B、C、D、E、F 作为一组进行实验。

1. 主机 B 在命令行方式下输入 staticroute_config 命令，开启静态路由服务。



2. 主机 A 启动协议编辑器，编辑一个 IP 数据报，其中：

MAC 层：

目的 MAC 地址：主机 B 的 MAC 地址（对应于 172.16.1.1 接口的 MAC）。

源 MAC 地址：主机 A 的 MAC 地址。

协议类型或数据长度：0800。

IP 层：

总长度：IP 层长度。

生存时间：128。

源 IP 地址：主机 A 的 IP 地址（172.16.1.2）。

目的 IP 地址：主机 E 的 IP 地址（172.16.0.2）。

校验和：在其它所有字段填充完毕后计算并填充。

自定义字段：

数据：填入大于 1 字节的用户数据。

【说明】先使用协议编辑器的“手动计算”校验和，再使用协议编辑器的“自动计算”校验和，将两次计算结果相比较，若结果不一致，则重新计算。

● IP 在计算校验和时包括哪些内容？

答案： IP 校验和只校验 **IP 数据报的首部**不包括数据部分。具体包括：版本、首部长度、服务类型、总长度、标识、标志、片偏移、生存时间（TTL）、协议、源 IP 地址、目

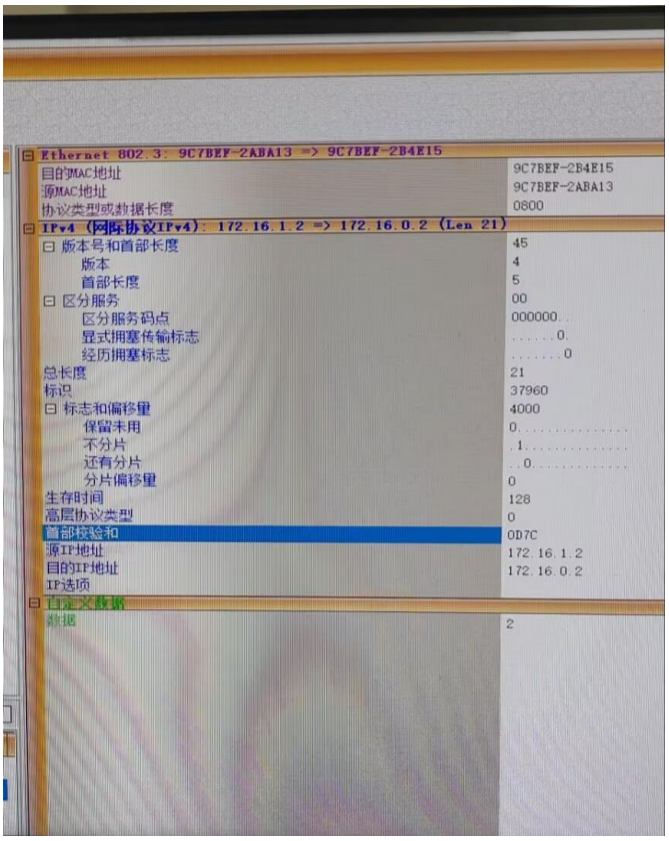
的 IP 地址。

3. 在主机 B（两块网卡分别打开两个捕获窗口）、E 上启动协议分析器，设置过滤条件（提取 IP 协议），开始捕获数据。

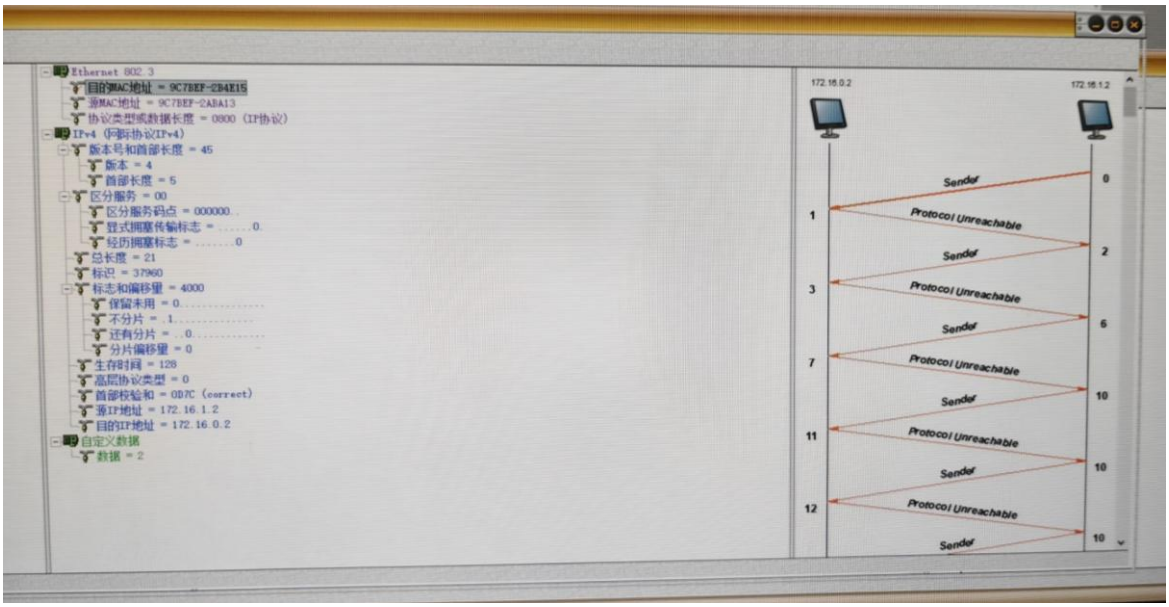
4. 主机 A 发送第 1 步中编辑好的报文。

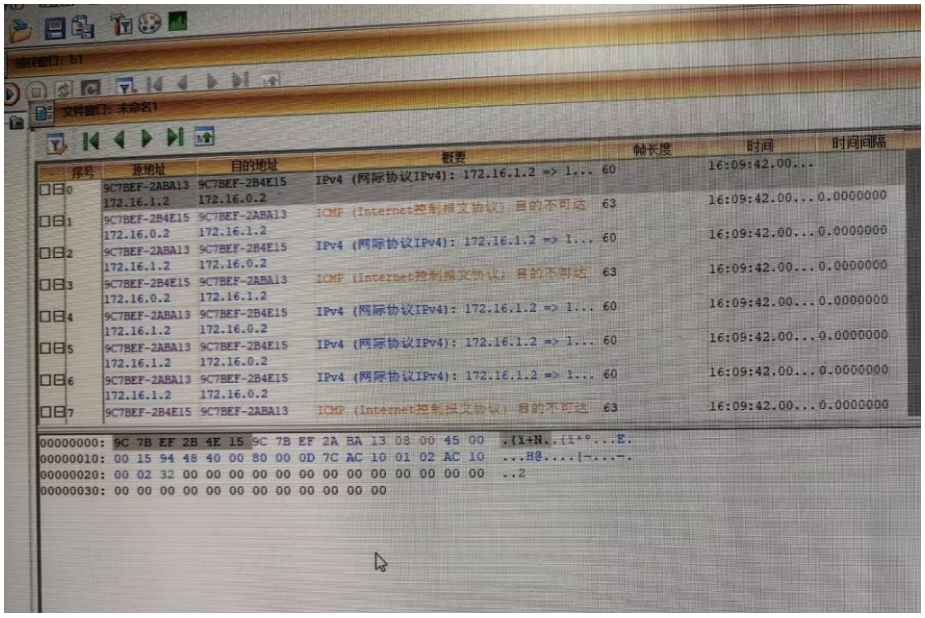
5. 主机 B、E 停止捕获数据，在捕获到的数据中查找主机 A 所发送的数据报，并回答以下问题：

主机 A 编辑的报文：

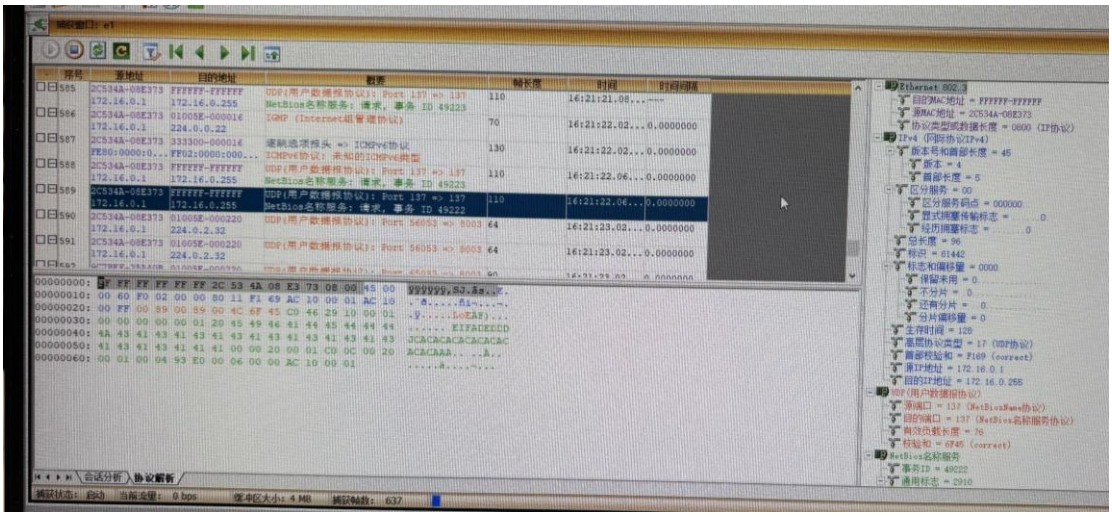


主机 B 接收到的信息：


Ethernet 802.3
目的MAC地址 = 9C7BEF-2B4E15
源MAC地址 = 9C7BEF-2ABA13
协议类型或数据长度 = 0800 (IP协议)
IPv4 (网际协议IPv4)
版本号和首部长度 = 45
版本 = 4
首部长度 = 5
区分服务 = 00
区分服务码点 = 000000
显式拥塞传输标志 = ...0
经历拥塞标志 = ...0
总长度 = 21
标识 = 37960
标志和偏移量 = 4000
保留未用 = 0
不分片 = 1
还有分片 = 0
分片偏移量 = 0
生存时间 = 128
高层协议类型 = 0
首部校验和 = 0D7C (correct)
源IP地址 = 172.16.1.2
目的IP地址 = 172.16.0.2
自定义数据
数据 = 2
172.16.0.2
172.16.1.2
Sender
Protocol Unreachable


序号 源地址 目的地址 概要 帧长度 时间 时间间隔
9C7BEF-2ABA13 9C7BEF-2B4E15 IPv4 (网际协议IPv4): 172.16.1.2 => 1... 60 16:09:42.00...
172.16.1.2 172.16.0.2
9C7BEF-2B4E15 9C7BEF-2ABA13 ICMP (Internet控制报文协议): 目的不可达 63 16:09:42.00...0.0000000
172.16.0.2 172.16.1.2
9C7BEF-2ABA13 9C7BEF-2B4E15 IPv4 (网际协议IPv4): 172.16.1.2 => 1... 60 16:09:42.00...0.0000000
172.16.1.2 172.16.0.2
9C7BEF-2B4E15 9C7BEF-2ABA13 ICMP (Internet控制报文协议): 目的不可达 63 16:09:42.00...0.0000000
172.16.0.2 172.16.1.2
9C7BEF-2ABA13 9C7BEF-2B4E15 IPv4 (网际协议IPv4): 172.16.1.2 => 1... 60 16:09:42.00...0.0000000
172.16.1.2 172.16.0.2
9C7BEF-2ABA13 9C7BEF-2B4E15 IPv4 (网际协议IPv4): 172.16.1.2 => 1... 60 16:09:42.00...0.0000000
172.16.1.2 172.16.0.2
9C7BEF-2ABA13 9C7BEF-2B4E15 IPv4 (网际协议IPv4): 172.16.1.2 => 1... 60 16:09:42.00...0.0000000
172.16.1.2 172.16.0.2
9C7BEF-2B4E15 9C7BEF-2ABA13 ICMP (Internet控制报文协议): 目的不可达 63 16:09:42.00...0.0000000
00000000: 9C 7B EF 2B 4E 15 9C 7B EF 2A BA 13 08 00 45 00 .{i+N..{i*º...E.
00000010: 00 15 94 48 40 00 80 00 0D 7C AC 10 01 02 AC 10 ...H@....|¬...¬.
00000020: 00 02 32 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 ..2
00000030: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00

主机 E 接收到的信息:



第 1 步中主机 A 所编辑的报文，经过主机 B 到达主机 E 后，报文数据是否发生变化？若发生变化，记录变化的字段，并简述发生变化的原因。

答案： 发生变化。

1. **生存时间 (TTL)：** 减 1。原因：路由器每转发一次数据报，TTL 值减 1，防止数据报在网络中无限循环。

2. **首部校验：** 发生改变。原因：由于 TTL 字段发生了变化，路由器必须重新计算 IP 首部校验和。

3. **源 MAC 地址和目的 MAC 地址：** 发生改变。原因：数据链路层帧头在每一跳都会重写，源 MAC 变为 B 的 MAC，目的 MAC 变为 E 的 MAC。

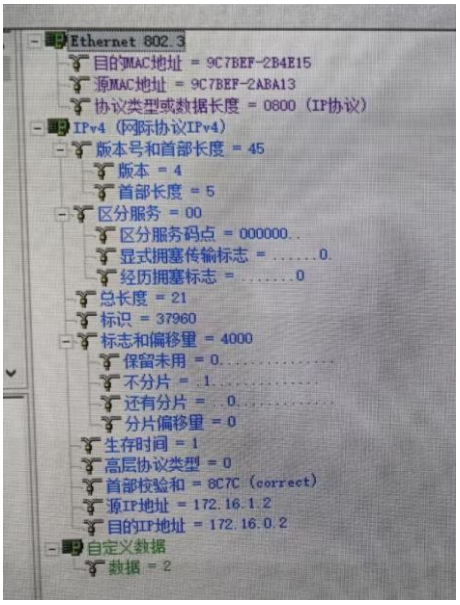
6. 将第 1 步中主机 A 所编辑的报文的“生存时间”设置为 1，重新计算校验和。

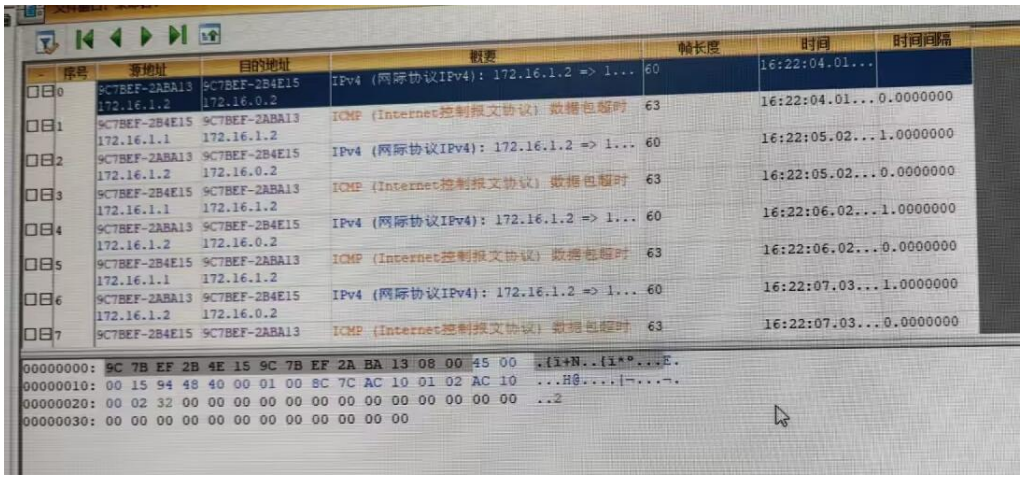
7. 主机 B、E 重新开始捕获数据。

8. 主机 A 发送第 5 步中编辑好的报文。

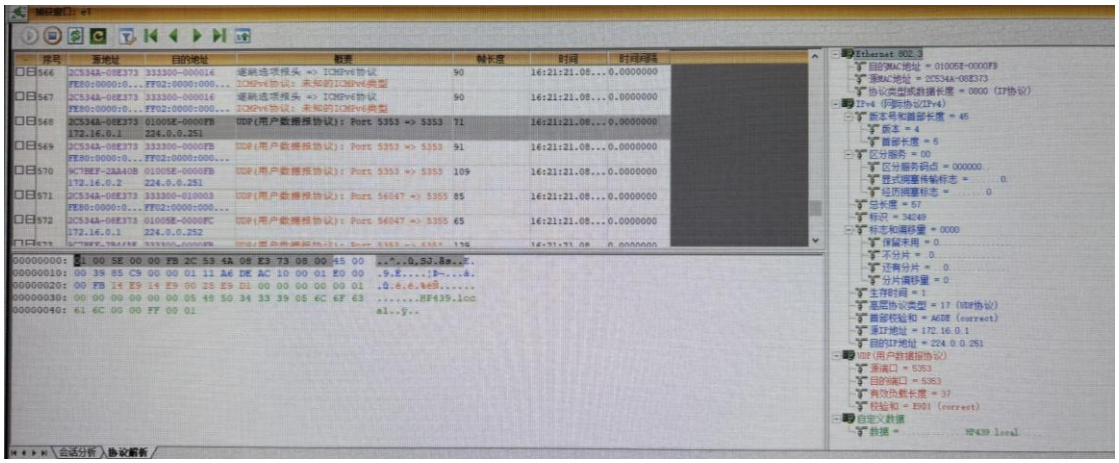
9. 主机 B、E 停止捕获数据，在捕获到的数据中查找主机 A 所发送的数据报，并回答以下问题：

主机 B 第二次捕获到的数据信息：





主机 E 第二次接收到的信息：



● 主机 B、E 是否能捕获到主机 A 所发送的报文？简述产生这种现象的原因。

答案：

- **主机 B：** **能**捕获到。
- **主机 E：** **不能**捕获到。
- **原因：** 主机 A 发送的报文 TTL 为 1。当报文到达路由器（主机 B）时，B 将 TTL 减 1 变为 0。根据 IP 协议规定，当 TTL 为 0 时，路由器会丢弃该报文，并向源主机发送 ICMP“超时”差错报文，因此报文不会被转发给主机 E。

练习 2：特殊的 IP 地址

本练习将主机 A、B、C、D、E、F 作为一组进行实验。

1. 直接广播地址

（1）主机 A 编辑 IP 数据报 1，其中：

目的 MAC 地址：FFFFFF-FFFFFF。

源 MAC 地址：A 的 MAC 地址。

源 IP 地址：A 的 IP 地址。

目的 IP 地址：172.16.1.255。

自定义字段数据：填入大于 1 字节的用户数据。

校验和：在其它字段填充完毕后，计算并填充。

（2）主机 A 再编辑 IP 数据报 2，其中：

目的 MAC 地址：主机 B 的 MAC 地址（对应于 172.16.1.1 接口的 MAC）。

源 MAC 地址：A 的 MAC 地址。

源 IP 地址：A 的 IP 地址。

目的 IP 地址：172.16.0.255。

自定义字段数据：填入大于 1 字节的用户数据。

校验和：在其它字段填充完毕后，计算并填充。

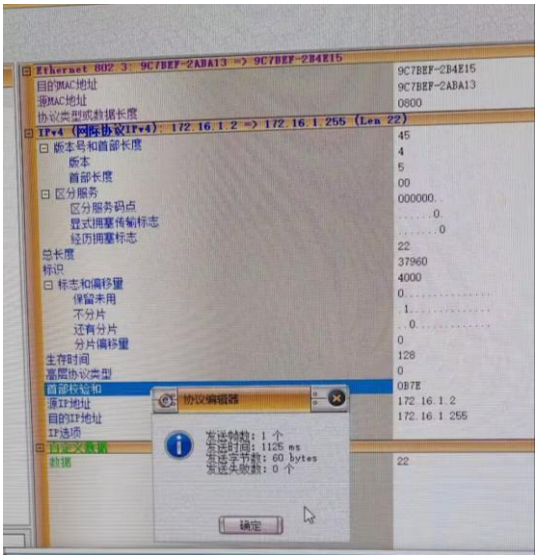
（3）主机 B、C、D、E、F 启动协议分析器并设置过滤条件（提取 IP 协议，捕获 172.16.1.2 接收和发送的所有 IP 数据包，设置地址过滤条件如下：172.16.1.2<->Any）。

（4）主机 B、C、D、E、F 开始捕获数据。

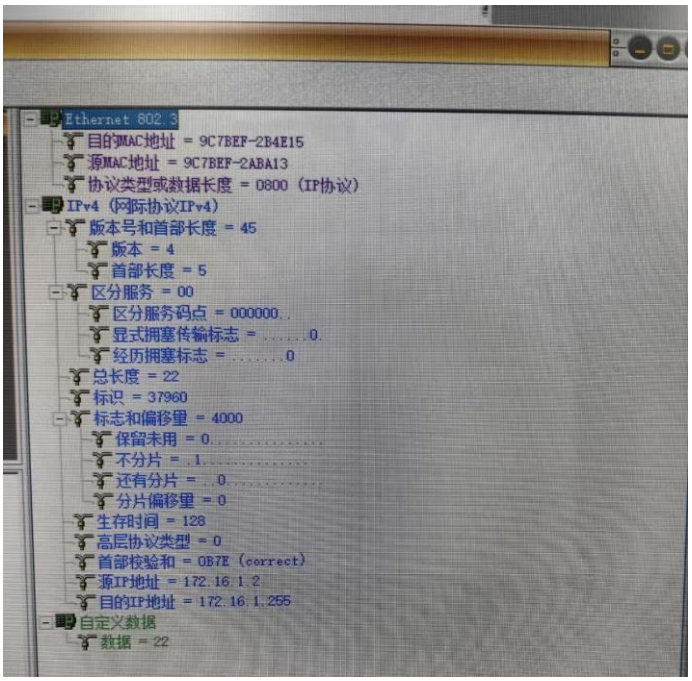
（5）主机 A 同时发送这两个数据报。

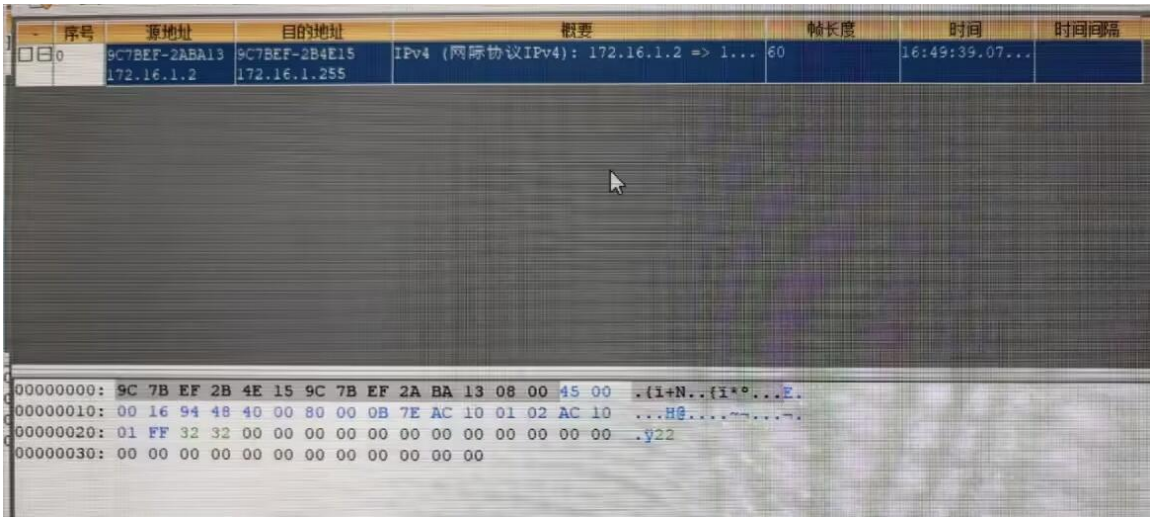
（6）主机 B、C、D、E、F 停止捕获数据。

主机 A 编辑发送的 IP 数据报 1：

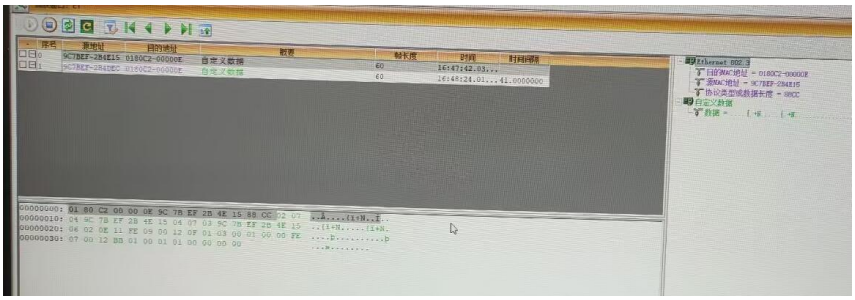

Ethernet 802.3: 9C7BEF-2ABA13 => 9C7BEF-2B4E15
目的MAC地址
源MAC地址
协议类型或数据长度
IPv4 (网际协议IPv4): 172.16.1.2 => 172.16.1.255 (Len 22)
版本号和首部长度
版本
首部长度
区分服务
区分服务码点
显式拥塞传输标志
经历拥塞标志
总长度
标识
标志和偏移量
保留未用
不分片
还有分片
分片偏移量
生存时间
高层协议类型
首部校验和
源IP地址
目的IP地址
IP选项
自定义数据
数据
9C7BEF-2B4E15
9C7BEF-2ABA13
0800
45
4
5
00
000000..
.....0.
.....0
22
37960
4000
0...
.1..
..0.
0
128
0
0B7E
172.16.1.2
172.16.1.255
22
协议编辑器
发送帧数: 1 个
发送时间: 1125 ms
发送字节数: 60 bytes
发送失败数: 0 个
确定

主机 B：

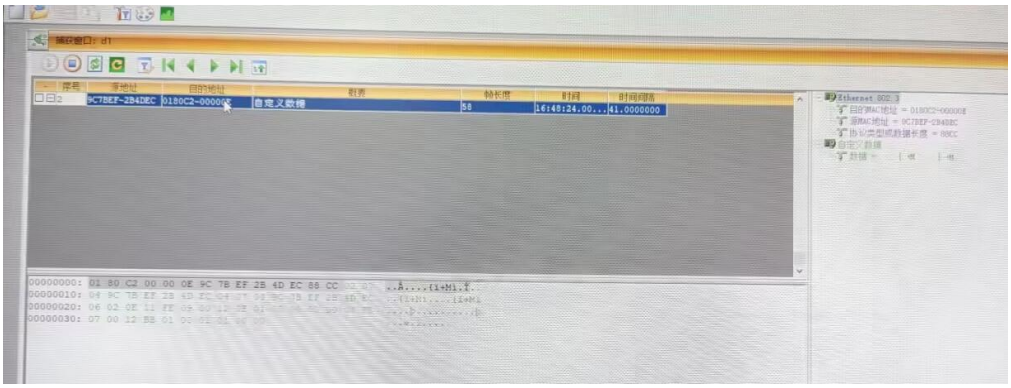

Ethernet 802.3
目的MAC地址 = 9C7BEF-2B4E15
源MAC地址 = 9C7BEF-2ABA13
协议类型或数据长度 = 0800 (IP协议)
IPv4 (网际协议IPv4)
版本号和首部长度 = 45
版本 = 4
首部长度 = 5
区分服务 = 00
区分服务码点 = 000000..
显式拥塞传输标志 = ...0.
经历拥塞标志 = ...0
总长度 = 22
标识 = 37960
标志和偏移量 = 4000
保留未用 = 0...
不分片 = .1..
还有分片 = ..0.
分片偏移量 = 0
生存时间 = 128
高层协议类型 = 0
首部校验和 = 0B7E (correct)
源IP地址 = 172.16.1.2
目的IP地址 = 172.16.1.255
自定义数据
数据 = 22


序号
源地址
目的地址
概要
帧长度
时间
时间间隔
0
9C7BEF-2ABA13
172.16.1.2
9C7BEF-2B4E15
172.16.1.255
IPv4 (网际协议IPv4): 172.16.1.2 => 1...
60
16:49:39.07...
00000000: 9C 7B EF 2B 4E 15 9C 7B EF 2A BA 13 08 00 45 00 .{i+N..{i*°...E.
00000010: 00 16 94 48 40 00 80 00 0B 7E AC 10 01 02 AC 10 ...H@....~¬...¬.
00000020: 01 FF 32 32 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 .ÿ22
00000030: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00

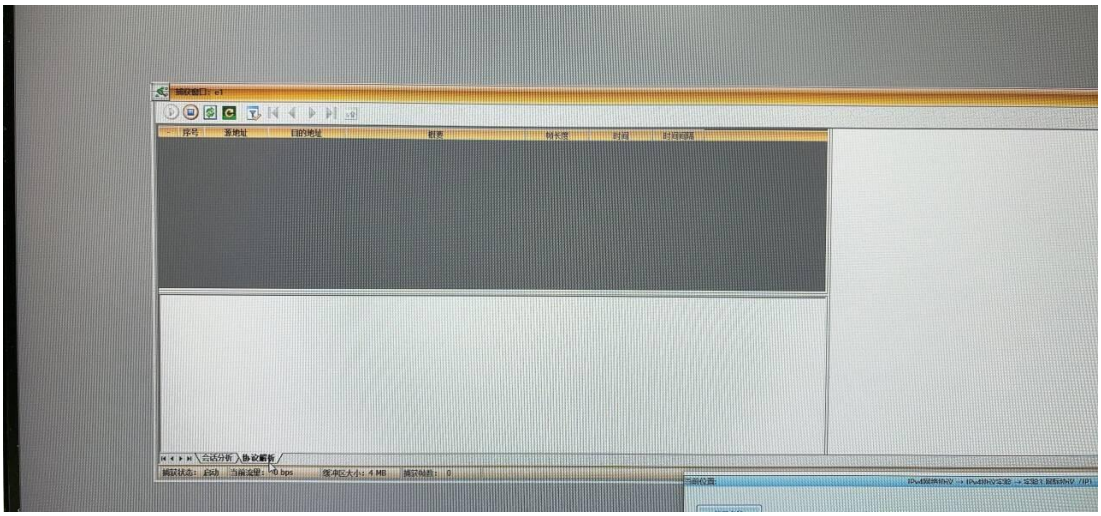
主机 C：



主机 D:

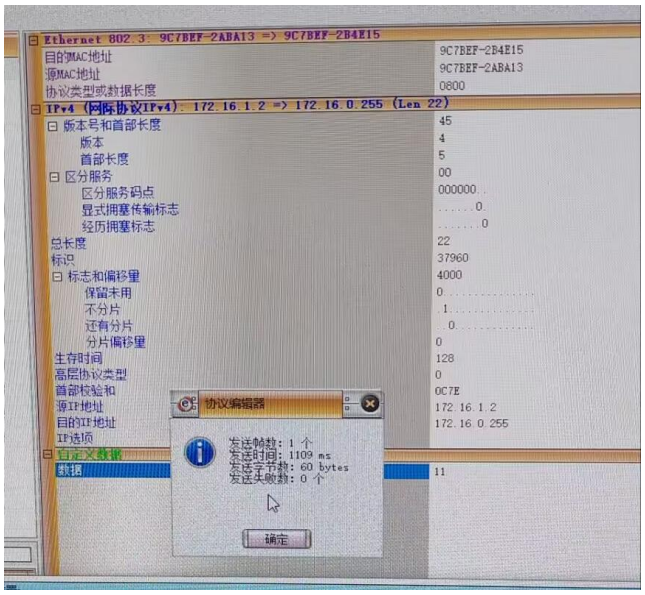


主机 E：

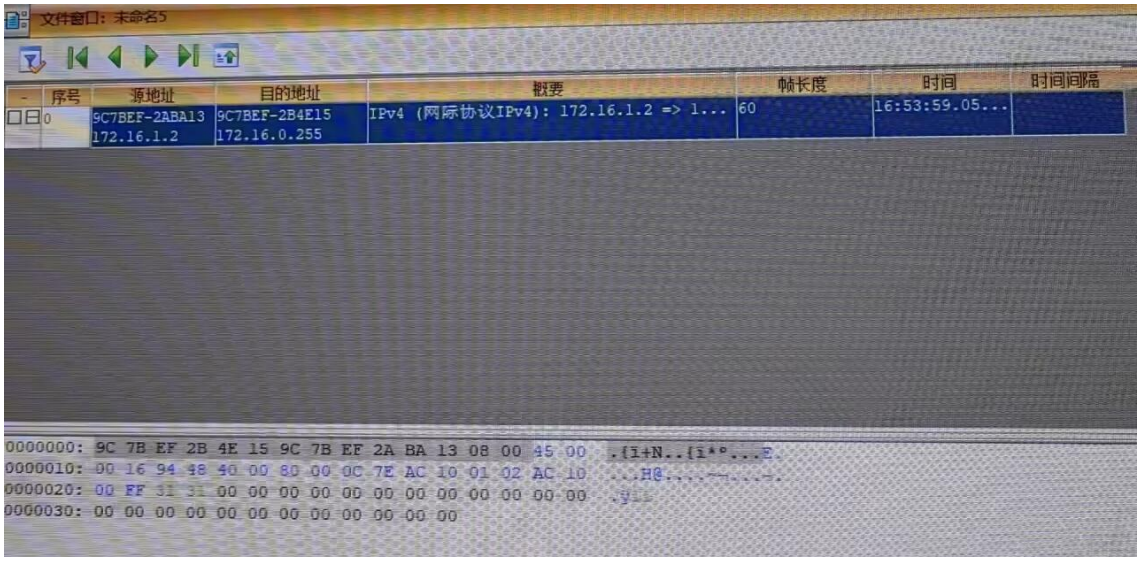


主机 F：

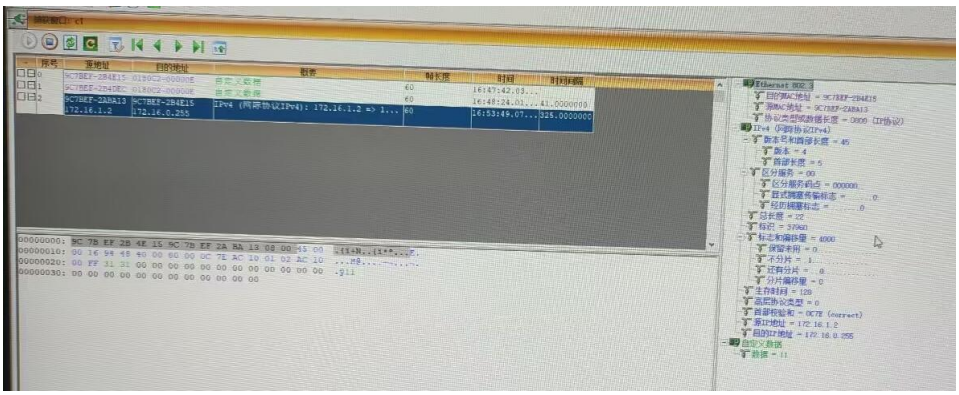
主机 A 编辑发送的数据报 2:



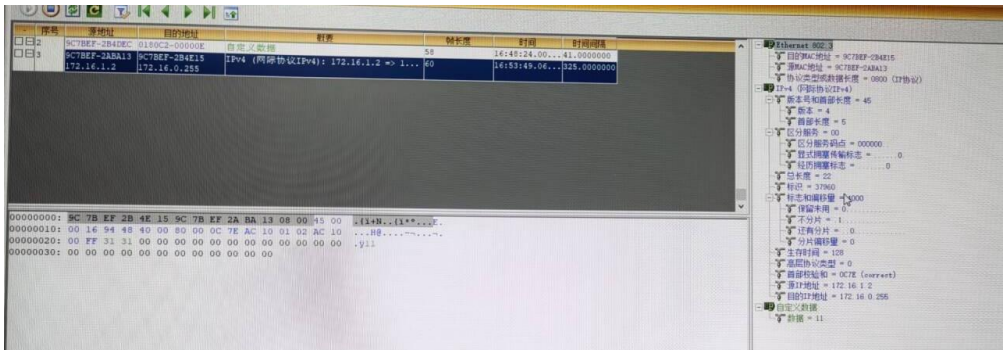
主机 B：



主机 E：



主机 F:



C、D 并未收到。

- 记录实验结果

	主机号
收到 IP 数据报 1	B、C、D
收到 IP 数据报 2	B、E、F

(注：IP 数据报 1 是发给 A 所在子网的广播，同网段的 B、C、D 都能收到。IP 数据报 2 是发给另一子网的广播，主机 A 将其发给网关 B，B 会收到，由于开启了定向广播转发功能，所以 E、F 也能收到。)

- 结合实验结果，简述直接广播地址的作用。

答案： 直接广播地址（HostID 全为 1）用于向**指定的某个网络**上的所有主机发送数据报。它允许远程主机向另一个网络的所有主机广播消息。

2. 受限广播地址

（1）主机 A 编辑一个 IP 数据报，其中：

目的 MAC 地址：FFFFFF-FFFFFF。

源 MAC 地址：A 的 MAC 地址。

源 IP 地址：A 的 IP 地址。

目的 IP 地址：255.255.255.255。

自定义字段数据：填入大于 1 字节的用户数据。

校验和：在其它字段填充完毕后，计算并填充。

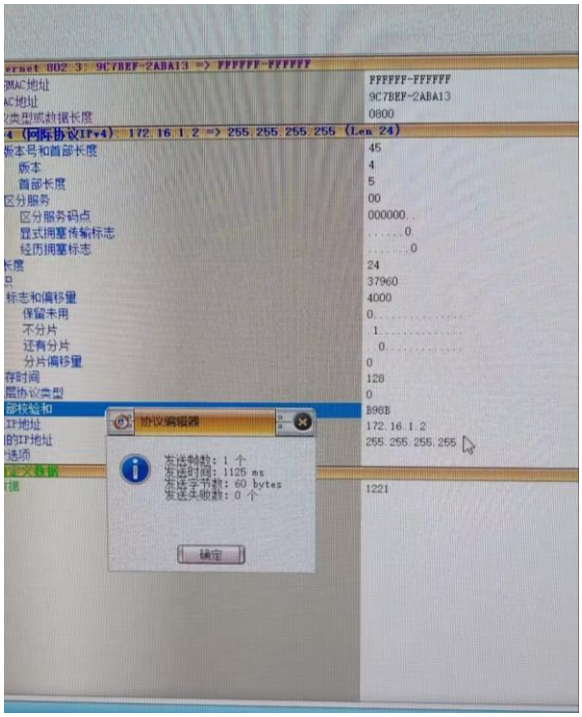
（2）主机 B、C、D、E、F 重新启动协议分析器并设置过滤条件（提取 IP 协议，捕获 172.16.1.2 接收和发送的所有 IP 数据包，设置地址过滤条件如下：172.16.1.2<->Any）。

（3）主机 B、C、D、E、F 重新开始捕获数据。

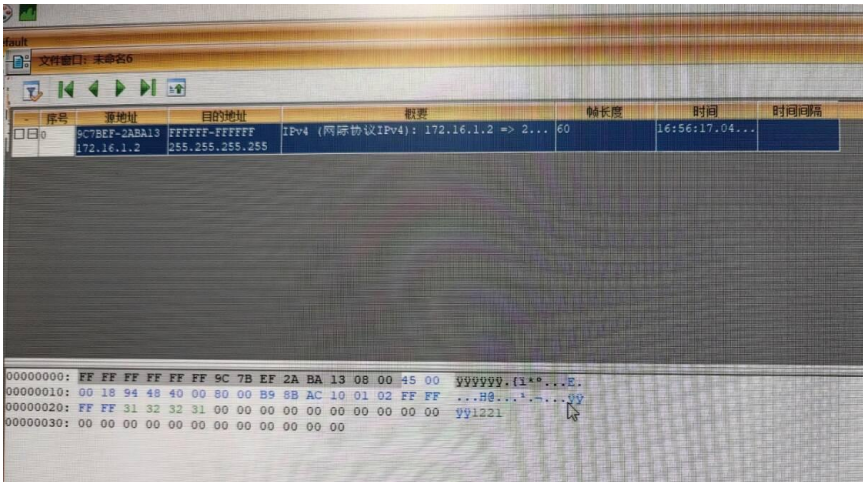
（4）主机 A 发送这个数据报。

（5）主机 B、C、D、E、F 停止捕获数据。

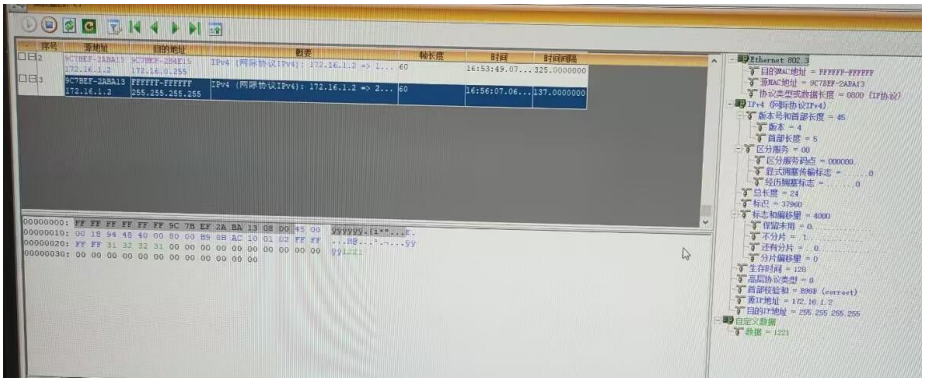
A 发送的数据报：



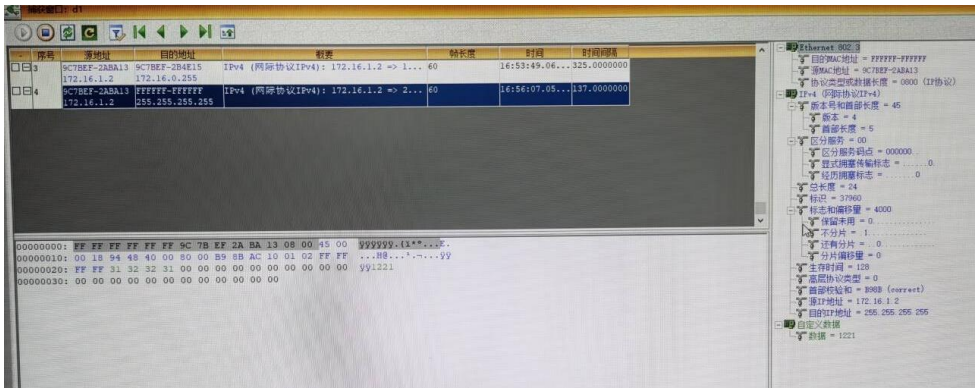
主机 B：



主机 C:



主机 D：



E、F 并未收到。

- 记录实验结果

	主机号
收到主机 A 发送的 IP 数据报	B、C、D
未收到主机 A 发送的 IP 数据报	E、F

- 结合实验结果，简述受限广播地址的作用。

答案： 受限广播地址（255.255.255.255）用于向**本物理网络**（也就是发送方所在的本地局域网）上的所有主机广播数据。路由器**不会转发**目的地址为受限广播地址的数据报，因此广播被限制在本地链路范围内。

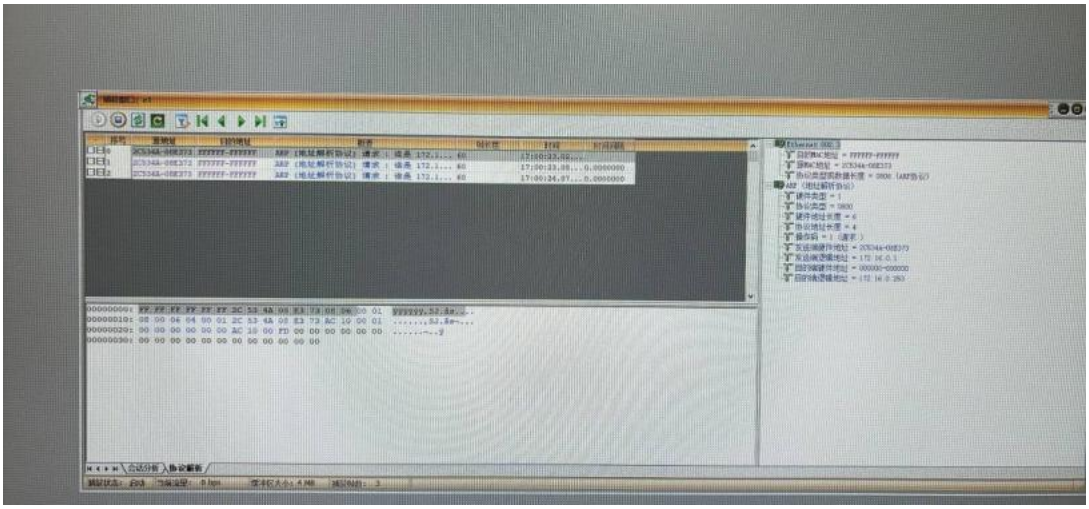
3. 环回地址

（1）主机 F 重新启动协议分析器开始捕获数据并设置过滤条件（提取 IP 协议）。

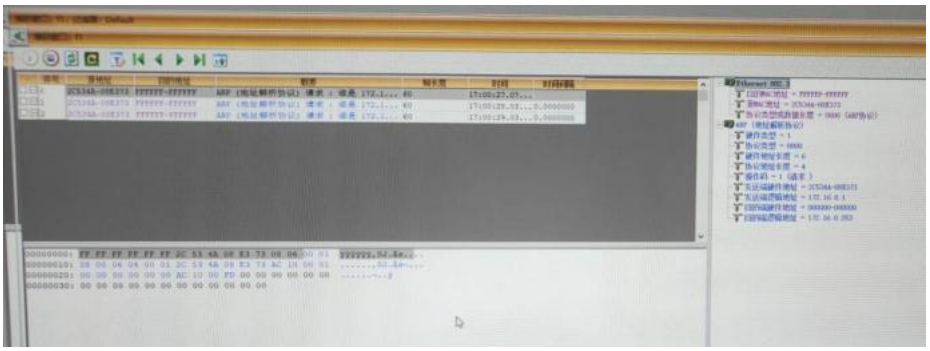
（2）主机 E ping 127.0.0.1。

（3）主机 F 停止捕获数据。

主机 E:



主机 F:



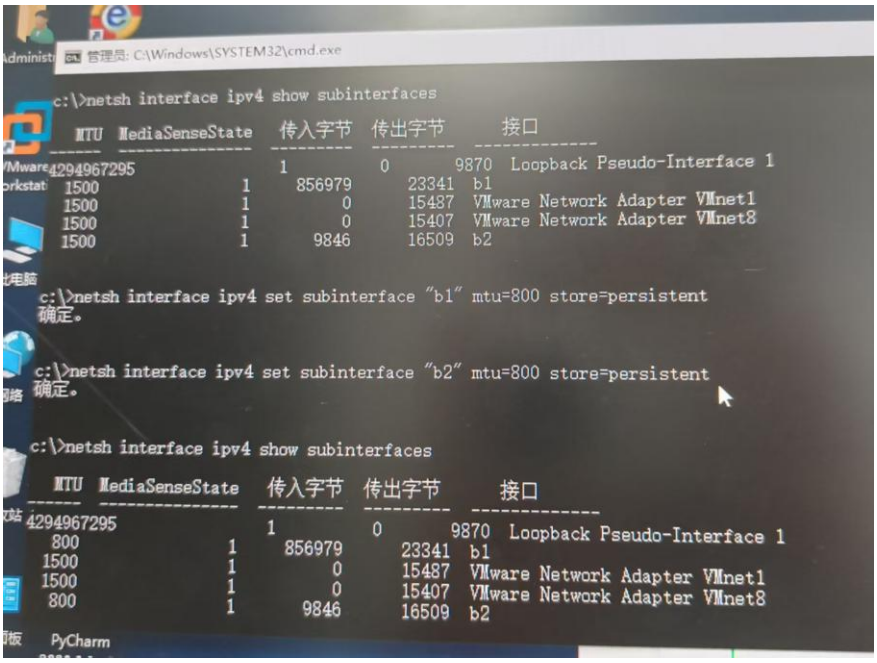
● 主机 F 是否收到主机 E 发送的目的地址为 127.0.0.1 的 IP 数据报？为什么？

答案：主机 F 不会收到目的地址为 127.0.0.1 的 IP 数据报。因为 127.0.0.1 属于**环回地址**，报文不会真正发到网卡上，而是在主机 E 内部的协议栈中完成发送与接收，相当于“自己跟自己通信”。

练习 3：IP 数据报分片

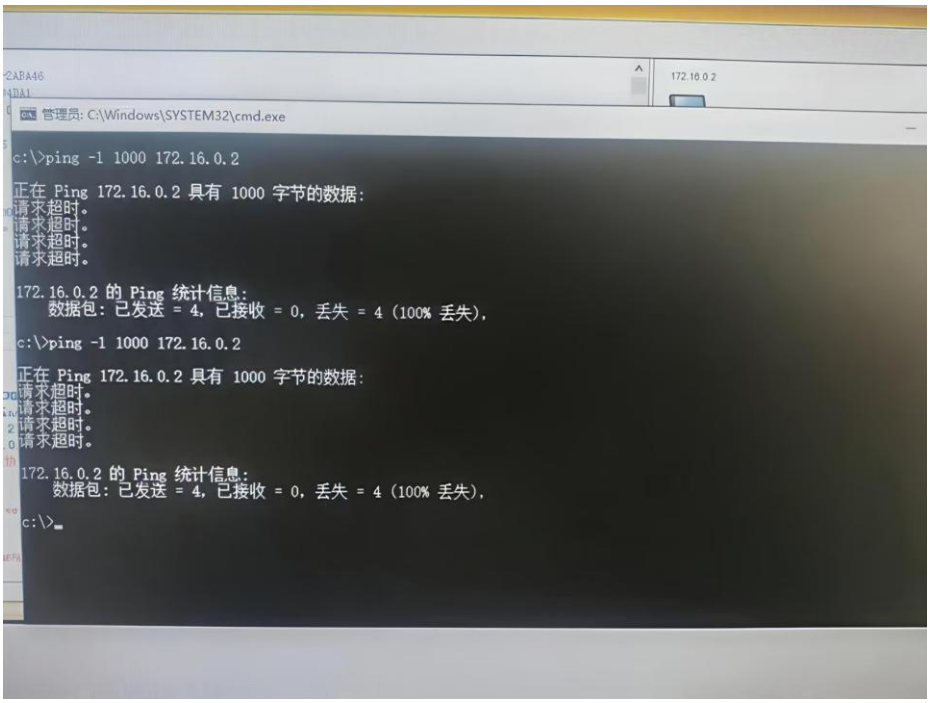
本练习将主机 A、B、C、D、E、F 作为一组进行实验。

1. 在主机B上使用“实验平台上工具栏中的MTU工具”设置以太网端口的MTU为800字节（两个端口都设置）。

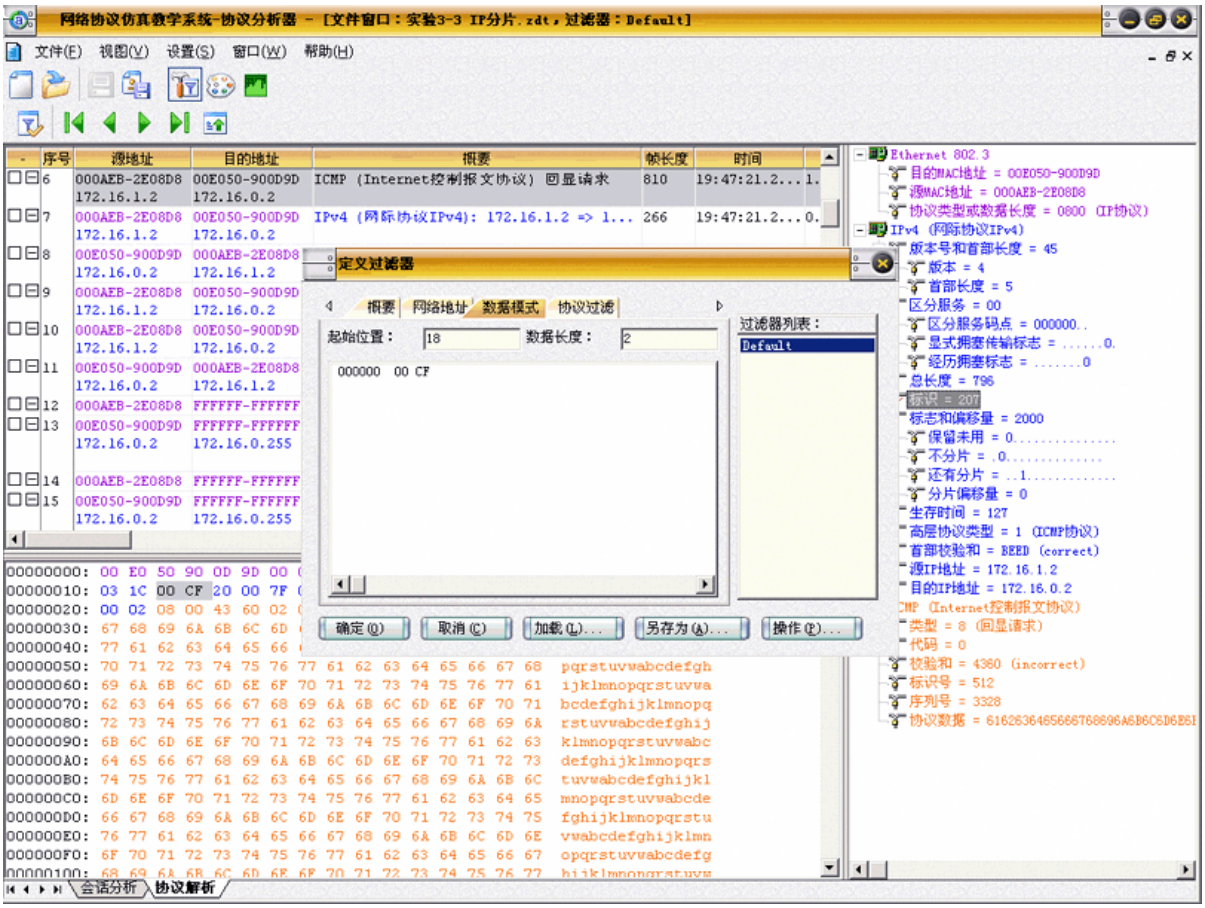


2. 主机 A、B、E 启动协议分析器，打开捕获窗口进行数据捕获并设置过滤条件(提取ICMP 协议)。

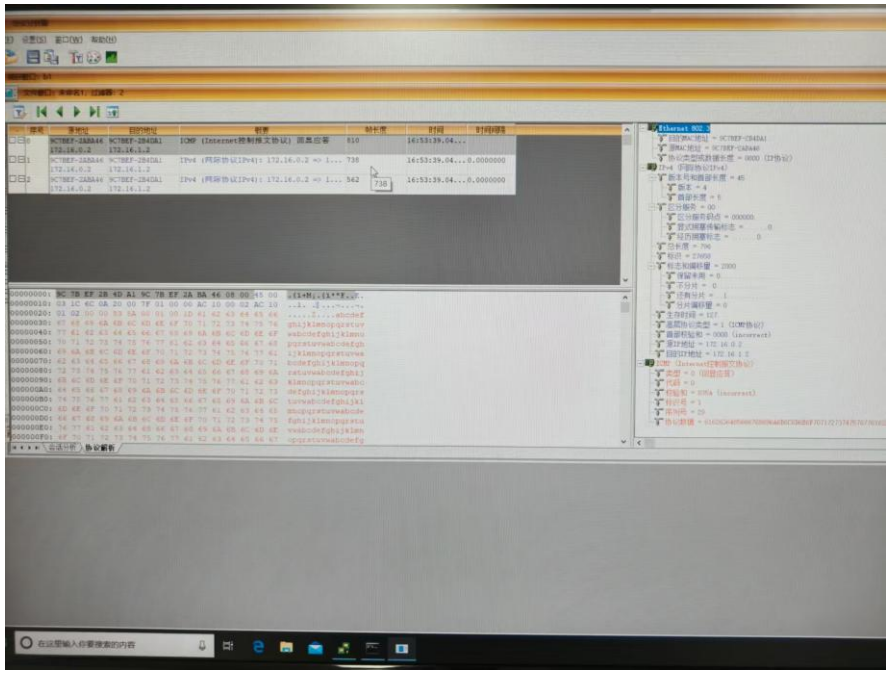
3. 在主机 A 上，执行命令 ping -l 1000 172.16.0.2。



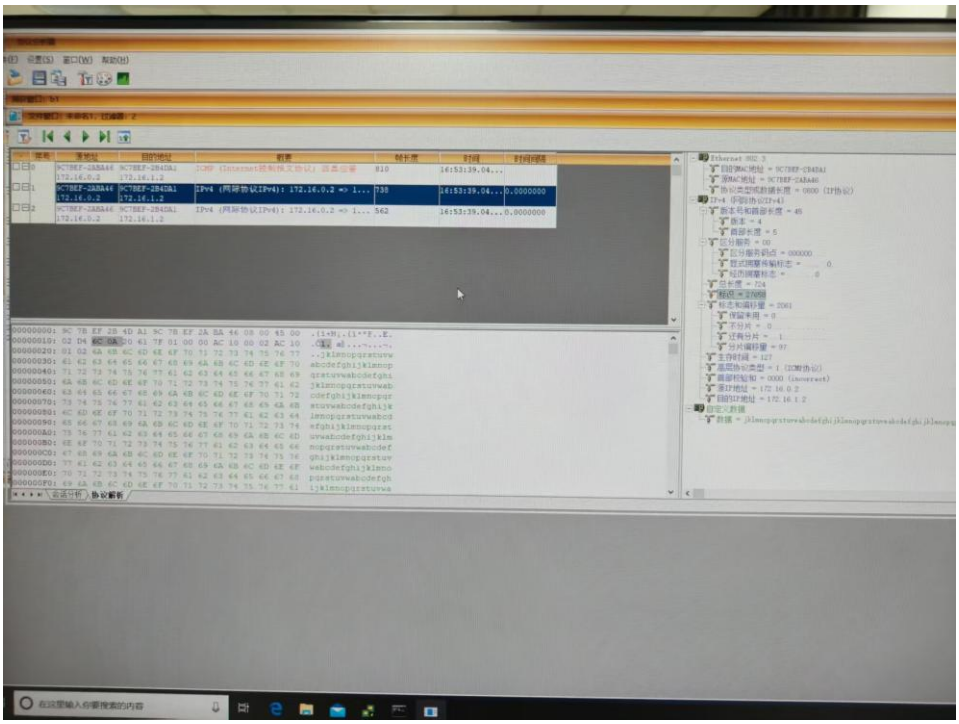
4. 主机 A、B、E 停止捕获数据。在主机 E 上重新定义过滤条件（取一个 ICMP 数据包，按照其 IP 层的标识字段设置过滤），如图所示：

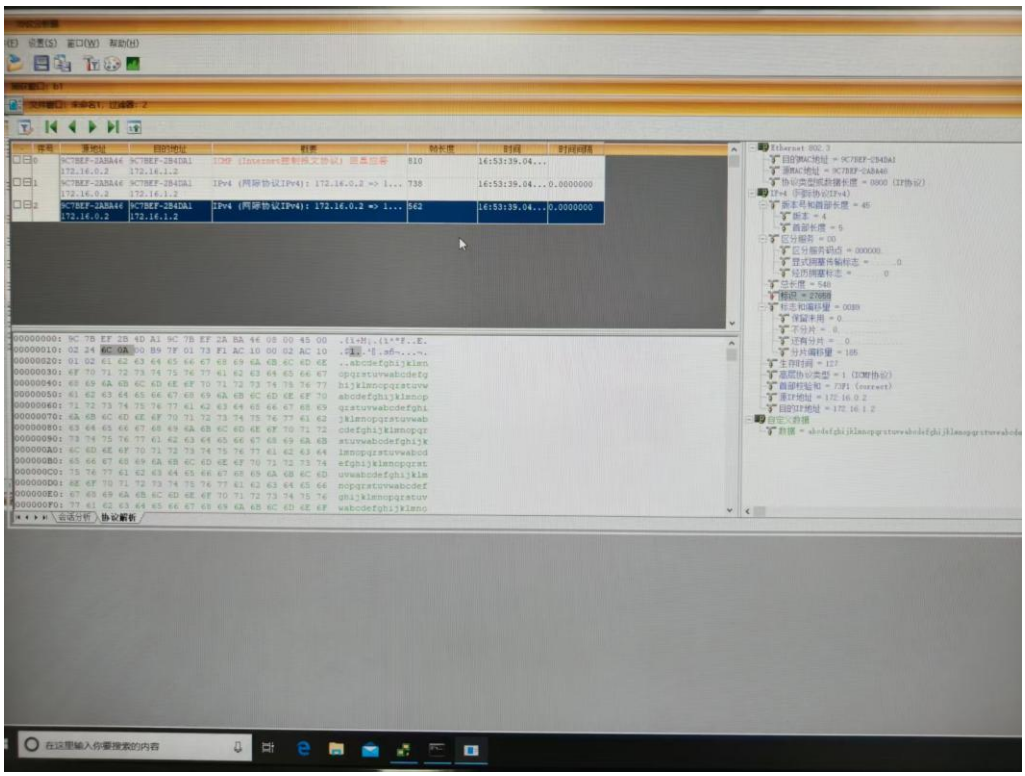


主机 E：



教务处制



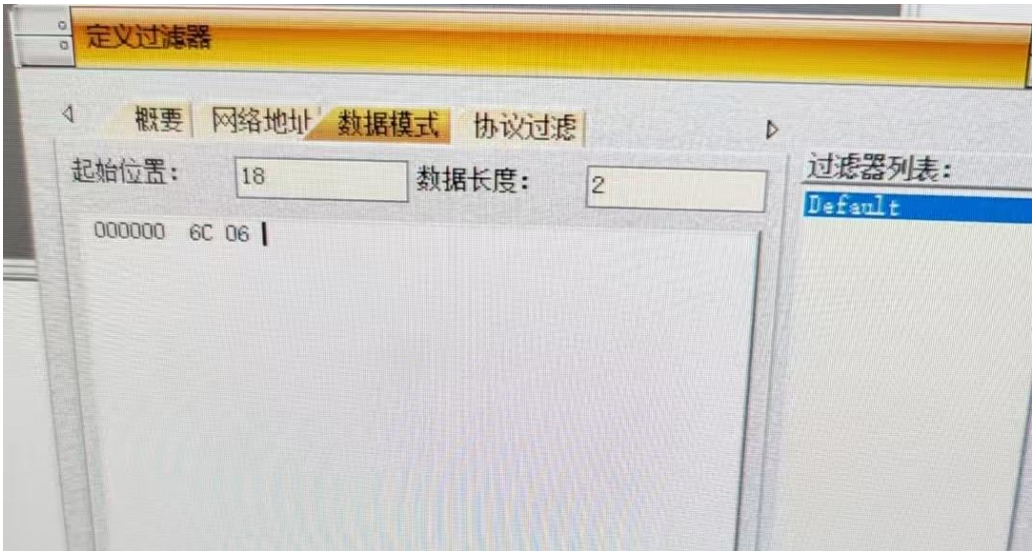


● 将 ICMP 报文分片信息填入下表，分析表格内容，理解分片的过程。

字段名称	分片序号 1	分片序号 2	分片序号 3
“标识”字段值	27658	27658	27658
“还有分片”字段值	1	1	0

“分片偏移量”字段值	0	97	185
传输的数据量	776	704	528

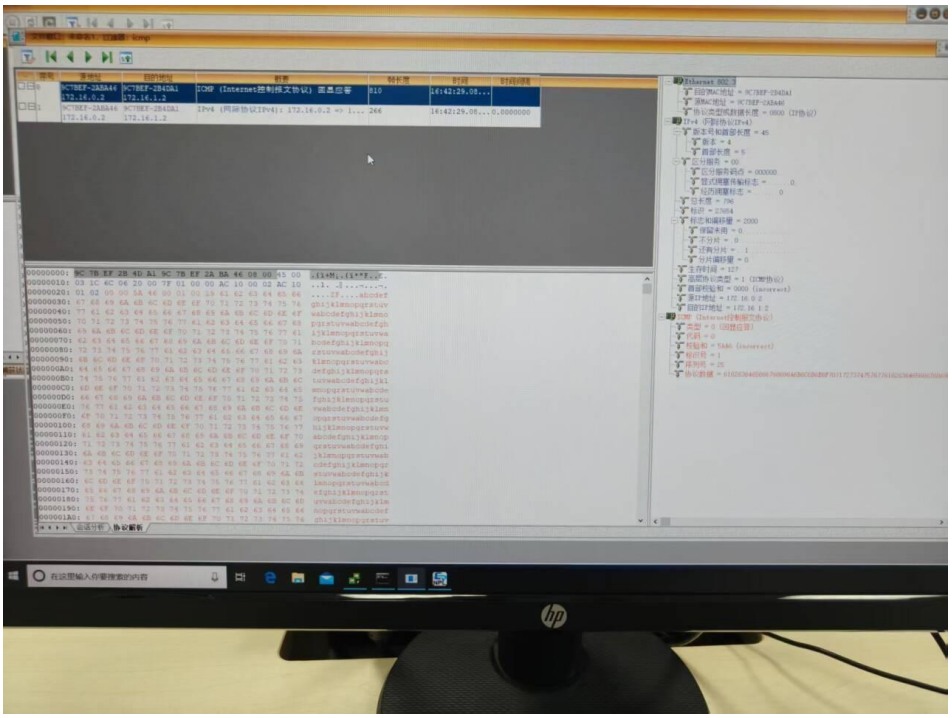
5. 主机 E 恢复默认过滤器。主机 A、B、E 重新开始捕获数据。

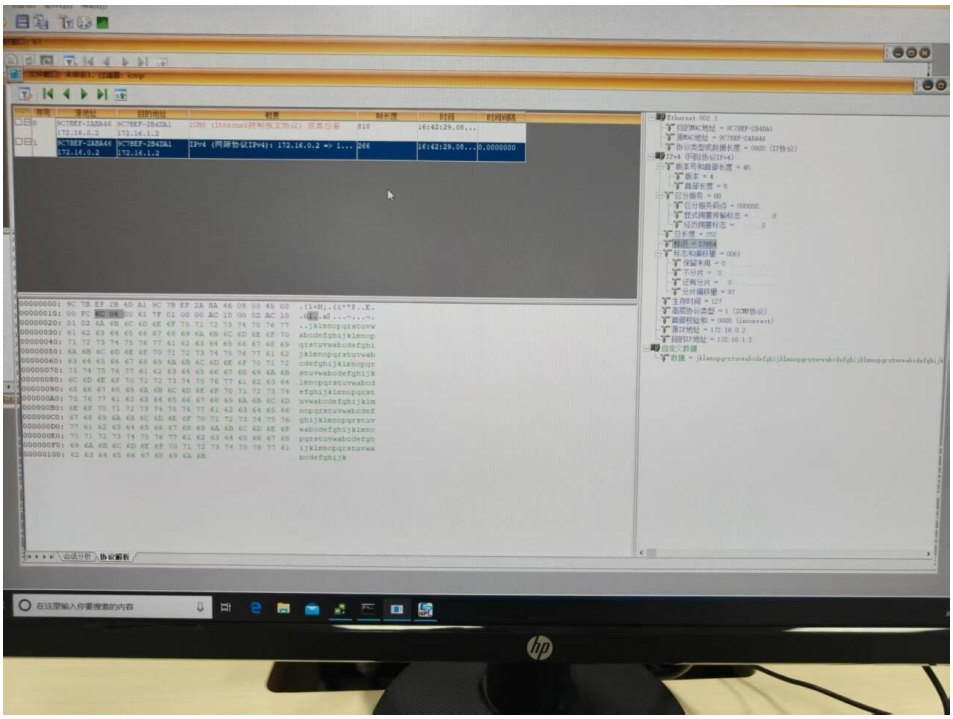


用此过滤后只会捕捉到标志号为 27654 的信息。

6. 在主机 A 上，执行命令 ping -l 2000 172.16.0.2。

主机 E:

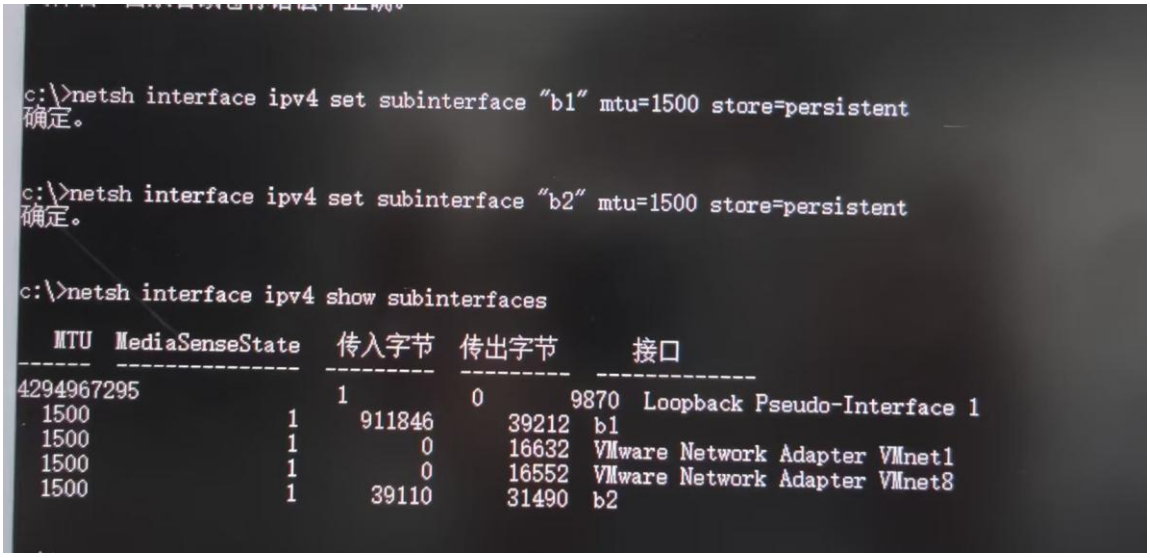




7. 主机 A、B、E 停止捕获数据。查看主机 A、E 捕获到的数据，比较两者的差异，体会两次分片过程。

主机 A 与主机 E 捕获数据的差异在于分片的数量和大小，体现了路由传输中的“二次分片”过程。

8. 主机 B 上使用“实验平台上工具栏中的 MTU 工具”恢复以太网端口的 MTU 为 1500 字节。



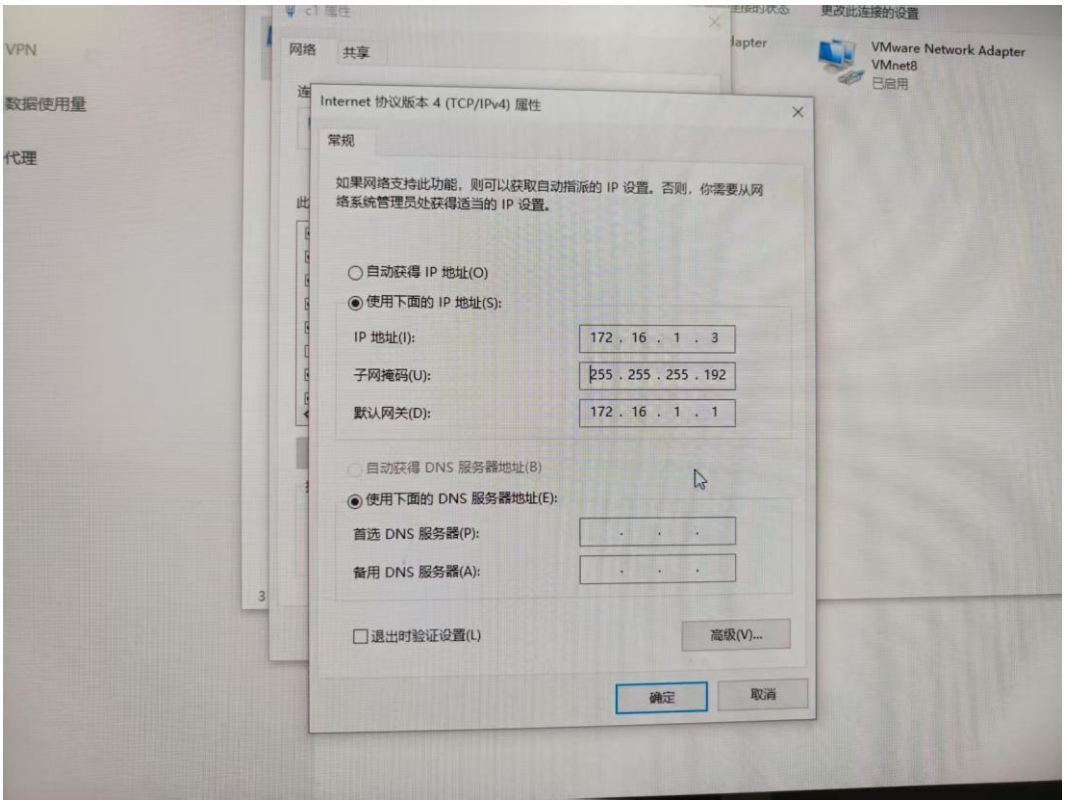
练习 4：子网掩码的作用

本练习将主机 A、B、C、D、E、F 作为一组进行实验。

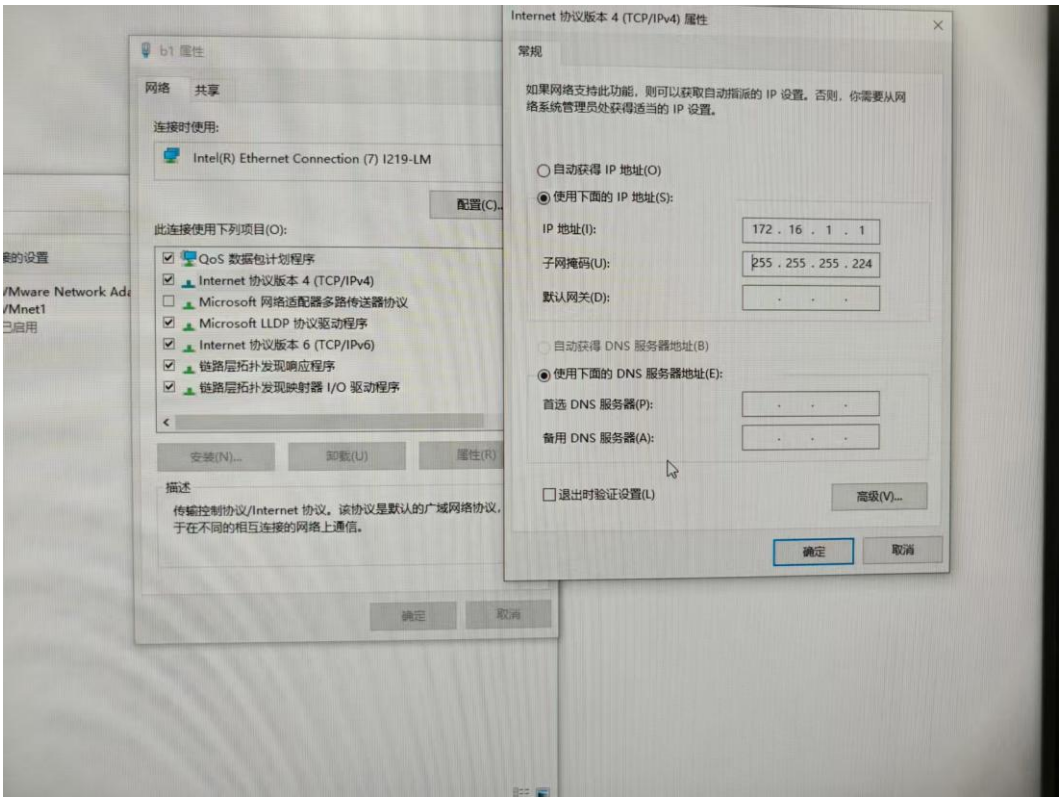
1. 所有主机取消网关。

2. 主机 A、C、E 设置子网掩码为 255.255.255.192，主机 B（172.16.1.1）、D、F 设置子网掩码为 255.255.255.224。

主机 A、C、E:

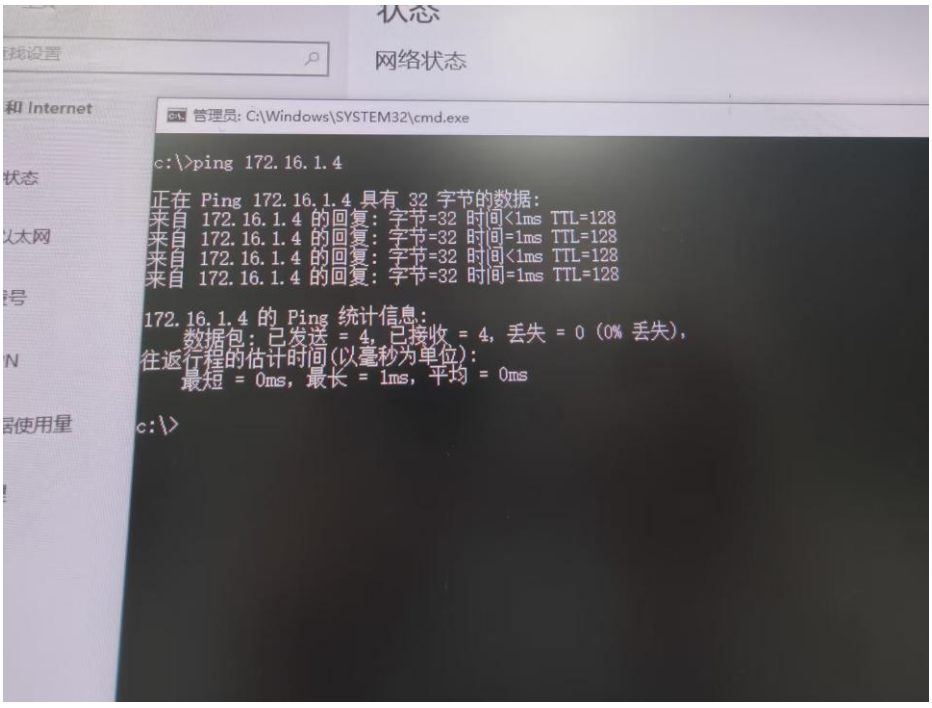


主机 D、F:



3. 主机 A ping 主机 B（172.16.1.1），主机 C ping 主机 D（172.16.1.4），主机 E ping 主机 F（172.16.0.3）。

C ping D:



主机 D:

结果显示可以 Ping 通。

后续 A ping B, E ping F 都能 ping 通。

- 记录实验结果

	是否 ping 通
主机 A----主机 B	可以
主机 C----主机 D	可以
主机 E----主机 F	可以

- 请问什么情况下两主机的子网掩码不同，却可以相互通信?

答：主要取决于它们之间的连接方式与逻辑判断：如果两主机**跨越了网段**（不在同一广播域），可以通过**路由器（网关）进行正常的三层路由转发实现互通；如果两主机在同一物理网络**（如同连一台交换机），只要双方的 IP 地址恰好都落在对方子网掩码计算出的“本地地址范围”内（即逻辑上互判为直连），或者网关开启了**代理 ARP** 功能，它们也能通过直接 ARP 或网关“欺骗”的方式实现通信。

4. 主机 B 在命令行方式下输入 recover_config 命令，停止静态路由服务。

5. 所有主机恢复到网络结构二的配置。

三、 实验总结与收获

本次实验通过对 IP 数据报的编辑、发送、捕获及详细分析，使我从理论层面走向实践，深入理解了 IP 协议在网络层的工作机制。具体收获如下:

1. **深入理解 IP 数据报的转发机制与报头变化** 通过练习 1，我直观地观察到了数据报在经过路由器（主机 B）转发时，**TTL（生存时间）字段会自动减 1**，且由于 TTL 的变化，**首部校验和**会被路由器重新计算。同时，我也验证了在数据链路层，**源 MAC 和目的 MAC 地址**在每一跳都会被重写，而 IP 头部中的源 IP 和目的 IP 保持不变。这让我深刻体会到了网络层“端到端”传输与数据链路层“逐跳”传输的区别。
2. **明确了特殊 IP 地址的应用场景与传输范围** 在练习 2 中，通过对比实验，我清晰地区分了**受限广播地址**（255.255.255.255）和**直接广播地址**的区别：前者被限制在本地物理网络内，路由器不予转发；后者则可以跨越路由器传播。此外，对**环回地址**（127.0.0.1）的测试让我明白这类报文仅在本地协议栈内部循环，不会经过物理网卡，这对于理解网络测试与本地通信至关重要。
3. **掌握了 MTU 与 IP 分片的具体过程** 练习 3 是本次实验的难点也是亮点。通过将路由器 MTU 设置为 800 字节并发送大包，我捕获并分析了分片报文。我观察到了“**二次分片**”现象（主机 A 先分片，路由器主机 B 因 MTU 更小再次分片），并学会了如何通过 IP 报头中的“标识”、“标志（MF 位）”和“片偏移”字段来追踪和重组原始数据。这使我对网络层如何适应不同链路 MTU 有了具象的认识。
4. **辩证理解子网掩码在通信中的作用** 练习 4 打破了我对子网掩码的固有认知。实验证明，即使两台主机的子网掩码不同，只要双方 IP 地址在各自的逻辑运算中都被判断为“直连范围”内，或者通过网关路由，依然可以实现通信。这让我明白了子网掩码本质上是用于**逻辑运算**以判断目标是否在本地网段，而非物理连接的硬性屏障。

总结： 通过这次实验，我不仅熟练掌握了协议分析器、MTU 工具及命令行工具的使用，更重要的是将课本上抽象的 IP 协议格式、分片流程和路由原理转化为了可视化的数据流。这种“所见即所得”的实验方式极大地巩固了我的计算机网络知识体系。